

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苧麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

中国干旱半干旱区潜在植被演替

李 飞¹, 赵 军^{2,*}, 赵传燕³, 张小强⁴

(1. 滁州学院国土信息工程系, 安徽滁州 239000; 2. 西北师范大学地理与环境科学, 甘肃兰州 730070;

3. 兰州大学干旱与草地农业生态教育部重点实验室, 甘肃兰州 730000; 4. 日本名古屋大学环境学研究科, 日本名古屋 464-8602)

摘要: 研究中国干旱半干旱区植被背景, 成为其生态环境建设方面的基础性和指导性的工作。潜在植被作为一种与所处立地达到平衡的演替终态, 反映的是无人干扰的情况下, 立地所能发育形成的最稳定成熟的一种顶极植被类型, 是一个地区现状植被的发展趋势, 对本地区植被生态的恢复和重建具有重要的指导意义。以综合顺序分类法为基本理论方法, 在 GIS 研究方法支持下, 采用中国干旱半干旱区 119 个气象观测站 1961—2005 年的年降水数据与 115 个气象观测站 1961—2005 的 $>0^{\circ}\text{C}$ 年积温数据, 以 15a 的年平均数据为时间周期, 对中国干旱半干旱区潜在植被的演替进行了分析, 得出了以下结论: 在中国干旱半干旱区, 潜在植被类型之间发生了复杂的演替过程。1961—1975 年间, 分布在中国干旱半干旱区的潜在植被有 10 种类型, 由于气候变化, 到 20 世纪 90 年代后期仅剩 6 种类型。在潜在植被类型之间的转化特征与数量方面, 表现出 3 种特点, 稳定减少、稳定增加与波动性变化。在潜在植被类型地理分布格局变化与发展方向方面, 演替明显的地区主要有: 吐鲁番盆地、锡林郭勒高原北部、呼伦贝尔高原、太平岭地区; 在发展方向上, 潜在植被的空间变化方向 (演替方向) 均异。潜在植被类型演替的驱动因素主要是气候变化条件下, 影响植被分布的水热条件发生了改变。

关键词: 潜在植被; 演替; 综合顺序分类法; GIS; 中国干旱半干旱区

Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China

LI Fei¹, ZHAO Jun^{2,*}, ZHAO Chuanyan³, ZHANG Xiaoqiang⁴

1 Department of Land Information Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China

2 College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

3 Ministry of Education Key Laboratory of Arid and Grass-Agricultural Ecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

4 Department of Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8602, Japan

Abstract: The study of vegetation background has become preliminary and infrastructural work toward the ecological environment construction in arid and semi-arid area of northwest China. Potential vegetation, as a final state of succession when one vegetation achieves the balance with its site, is the climax vegetation type at the site without human interference characterizing with high stability and full mature, and is the trend of the regional existing vegetation development. It has great significance regarding to the rehabilitation and reconstruction of vegetation in a region. Based on the integrated orderly classification system of grassland (IOCSG) and the support of GIS, this paper analyzed succession process of potential vegetation in arid and semi-arid area of northwest China. Annual precipitation from 119 meteorological stations and $>0^{\circ}\text{C}$ annual cumulative temperature from 115 meteorological stations in northwest China during the period from 1961 to 2005 are provided by meteorological bureau in Gansu province. The conclusions are as following. Complicated processes of succession of the potential vegetation happened due to climate change in the study area. The types of the potential vegetation reduce 40% from 10 to 6 types in 1961—1975 due to climate change in the study area. The study on the variation of the distribution area of potential vegetation, which is selected to represent the transformation between the different types and their quantitative characteristics, show that there exists three typical variation patterns, i. e. steadily reducing, steadily

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40961026, 30972135); 第四批国家级特色专业建设点项目 (TS12249)

收稿日期: 2009-12-14; **修订日期:** 2010-04-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaojun@nwnu.edu.cn

increasing and fluctuating. In view of the change of the geographic distribution pattern and the development direction of potential vegetation types, significant succession develop in the following sub-regions, including Turpan basin, Northern Xilinguole Plateau, Hulunbeier Plateau, and Taipingling Region. Differences exist in the succession developing direction and the spatial variation of the potential vegetation. Driving factors of potential vegetation succession is climate change. The change of the hydrothermal conditions, which directly affect the distribution of vegetation, cause the changes of the potential vegetation succession.

Key Words: potential vegetation; succession; IOCSG; GIS; arid and semi-arid area of China

潜在植被的概念是从 1956 年在“演替顶级”问题长期讨论的过程中,由 Reinhold Tüxen 最早提出的“潜在自然植被”的概念中演化出来的^[1]。概念提出之后受到地理学、植物学、生态学等领域的众多学者的极大关注,潜在植被的研究也因而得到快速的发展^[2]。代表性的研究有 Brzezicki 等选取气候、地形和土壤等因素,建立了植物群落与选择因子的概率模型,结合 GIS 技术模拟了瑞士山区 71 种森林群落的地理分布^[3];Guisan 等利用年平均温度与山地植物种的线性关系模拟了瑞士 Valais 地区的高山植物种的空间分布,获得了高分辨率的物种分布图^[4];Brown 在美国与加拿大边界的冰川国家公园对四种植被类型进行模拟,并与基于 Landsat TM 的植被分类相比较^[5];Dymond 在加拿大 Kananaskie 河流域利用土壤水分、温度和太阳辐射模拟了植被的空间格局^[6];Betts、Crame、Bachelet 等学者应用 RDGVMs(Dynamic global vegetation models)对全球尺度植被结构与分布进行了模拟^[7-9]。我国在潜在自然植被及其制图方面的研究工作却较为薄弱,赵茂盛等对 MAPSS 模型中的某些参数和过程进行了调整,用改进后的 MAPSS 模型模拟了中国当前气候状况下潜在植被类型及叶面积指数的分布^[10];杨正宇、周广胜、杨奠安等对 4 个常用的气候·植被分类模型对中国植被分布模拟进行了比较研究^[11];刘华民、吴绍洪等系统地总结了潜在植被的研究,对潜在自然植被的概念、研究的时空尺度、研究方法等进行了论述^[12];赵东升等对青藏高原的气候植被模型进行了系统的比较^[13];赵传燕等用遥感技术手段对黄土高原祖厉河流域潜在植被进行了模拟研究^[14];李飞、赵军等依据 IOCSG 模型,利用 GIS 分析方法对中国区域的潜在植被分布进行了比较系统的分析^[15]。

潜在植被作为一种与所处立地达到平衡的演替终态,反映的是无人干扰的情况下,立地所能发育形成的最稳定成熟的一种顶极植被类型,是一个地区现状植被的发展趋势。中国干旱半干旱区是生态脆弱区也是区域生态对全球变化响应的敏感区,以潜在植被为研究对象来探究立地的植被背景及其变化规律,成为其生态环境建设方面的基础性和指导性的工作^[16]。

1 研究区概况

中国干旱半干旱区介于北纬 36°44′—49°57′,东经 73°26′—123°55′,覆盖面积约为 243 万 km²,从分界线来看主要是大兴安岭以西,昆仑山—阿尔金山—祁连山和长城一线以北的广大地区(图 1)^[17]。干旱半干旱区主要包括内蒙古温带草原地区与西北温带及暖温带荒漠地区。以贺兰山为界,东西降水差异明显,西部由阿拉善高原温带荒漠区、准噶尔盆地温带荒漠区、阿尔泰山山地草原针叶林区、天山山地草原针叶林区、塔里木盆地暖温带荒漠区构成,区内年降水量一般在 200mm 以下,沙漠、戈壁、风蚀残丘广布,植被低矮稀疏,沙尘暴和旱灾肆虐,属于典型干旱地区;东部分为西辽河流域干草原区,内蒙古高原干草原区、荒漠草原区,鄂尔多斯高原干草原、荒漠草原区,区内年降水量为 200—400mm,属于半干旱和亚湿润干旱地区,区内农牧交错、人口密度大、牲畜数量多,致使植被破坏严重,是我国自然条件较差的地区之一。

2 理论与方法准备

2.1 潜在植被评定模型的选择

本文中所运用的模型是任继周、胡自治、牟新待等提出的气候-土地-植物综合顺序分类法,简称综合顺序分类法。此理论唯物地承认气候、土地、植物在构成草地这一土地-生物资源中的作用,辩证地认识和处理气

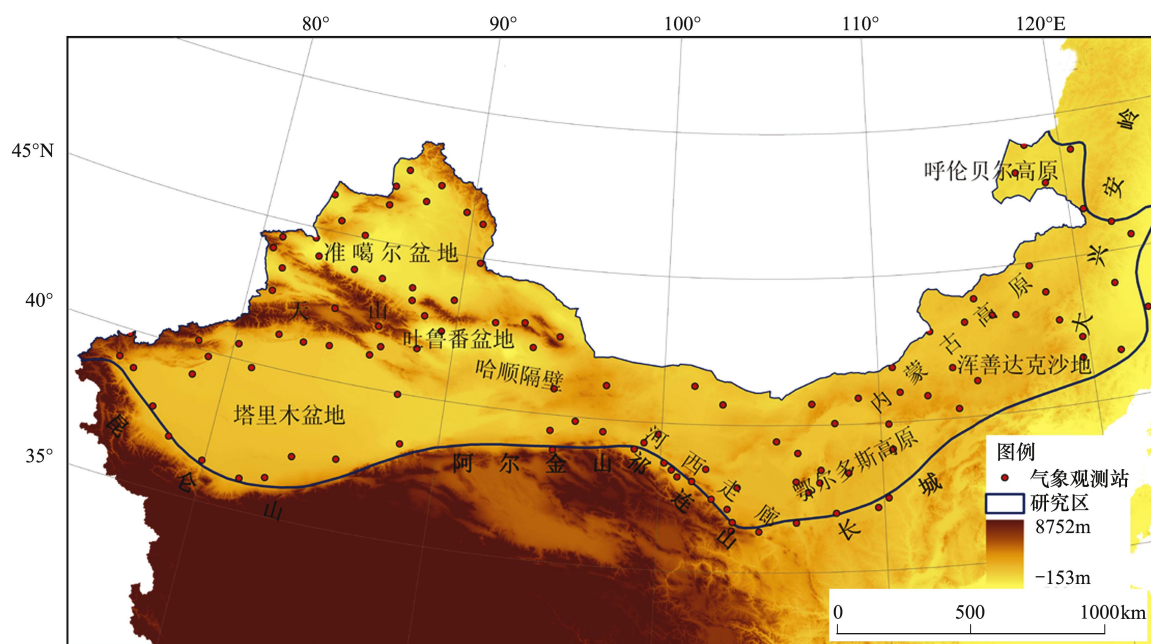
图1 中国干旱半干旱区范围^[17]

Fig.1 Arid and semi-arid area of China

候、土地和植物等因素在草原分类中的顺序关系,并按其稳定程度顺序地安排它们在一定的级别中作为分类指标。气候条件较之土地和植物稳定,就将其作为高级分类单位的指标,植物条件最容易发生变化,就将其作为低级分类单位的指标。在具体划分中,首先以量化的生物气候指标—— $>0^{\circ}\text{C}$ 的年积温($\Sigma\theta$)和湿润度(K)为依据,根据热量带与湿润度所构成2维分类结构图(图2)进行类的划分^[18-20]。

2.2 数据与方法

气象数据采用中国干旱半干旱区 119 个气象观测站 1961—2005 年的年降水数据与 115 个气象观测站 1961—2005 的 $>0^{\circ}\text{C}$ 年积温数据(数据来源于甘肃省气象局)。以 15 年的年平均数据为时间周期,分析变化过程;中国边界数据采用国家基础地理信息中心 2005 年发布的 1:400 万中国行政区划数据。

利用 ArcGIS 中 Geostatistical Analyst 模块下的 Kriging 插值方法对研究区气候数据($>0^{\circ}\text{C}$ 年积温数据与平均降水量数据)进行空间化处理。

采用综合顺序分类法的湿润度模型 $K = R/0.1 \Sigma\theta$ (式中, K 为湿润度; R 为年降水量; $\Sigma\theta$ 为 $>0^{\circ}\text{C}$ 年积温; 0.1 为模型调整系数),利用栅格运算得到研究区湿润度数据;依据综合顺序分类法,对湿润度数据与 $>0^{\circ}\text{C}$ 年积温进行分级,然后通过 GIS 空间叠加分析,得到中国干旱半干旱区潜在植被类型图(3 期),以此为据分析立地潜在植被的演替规律。

3 结果与分析

3.1 近 45 年中国干旱半干旱区潜在植被演变

中国干旱半干旱区生态环境比较脆弱,植被分布比较单一,大的景观类型主要以荒漠和草原为主。依据综合顺序分类法植被评定模型,划分出了 10 种潜在植被类型(20 世纪 90 年代后期仅剩 6 种类型)(图 3)。从图 3 可以看出,研究区主要的植被类型有微温干旱温带半荒漠类、微温极干温带荒漠类、温暖极干暖温带荒漠类、微温微润草甸草原类、微温微干温带典型草原类。其中微温干旱温带半荒漠类分布面积最大为 931686 km^2 (1961—1975 年),主要分布在准噶尔盆地及吕梁山以西和鄂尔多斯高原以北地区;在 1976—1990 年与 1991—2005 年的演替变化中,微温干旱温带半荒漠类的分布面积不断扩大,扩大后的面积分别达到 955032 km^2 与 1070776 km^2 。相比之下,1990 年代后期变化显著。从地理分布变化来说,研究区西部分布的微

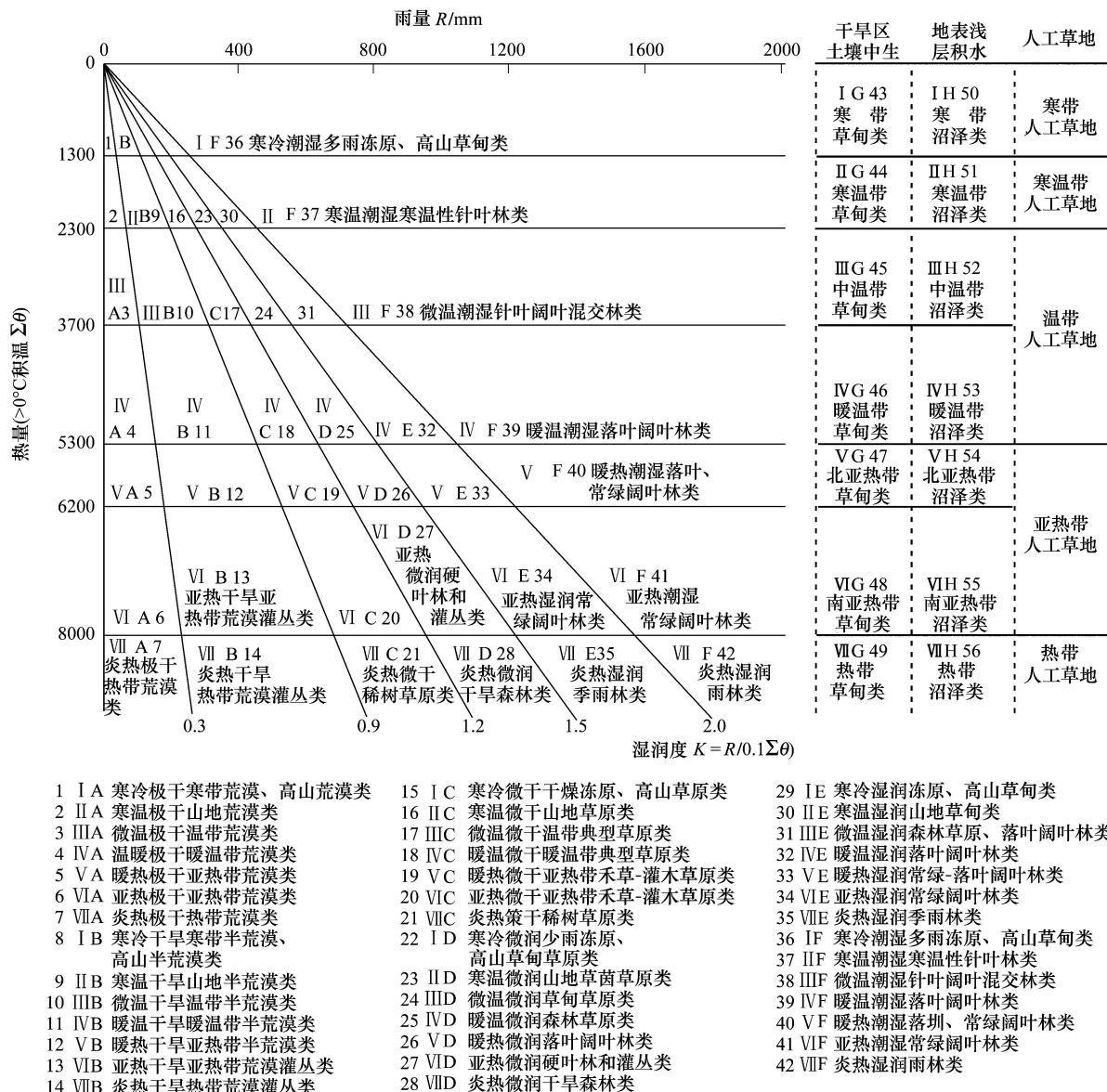


图2 综合顺序分类法分类结构图

Fig. 2 Classification diagram of the integrated orderly classification system of grassland

温干旱温带半荒漠类向南扩展、中部分布的向东方向变化。微温极干温带荒漠类分布面积为 561478 km² (1961—1975 年), 经过 1976—1990 年与 1991—2005 年的演替变化, 微温极干温带荒漠类的地理分布由天山南麓→河西走廊西部→阿拉善高原 (1961—1975 年与 1976—1990 年) 缩小到吐鲁番盆地→河西走廊西部→阿拉善高原 (1991—2005 年), 分布面积也由 561478 km² (1961—1975 年)→491234 km² (1976—1990 年)→318098 km² (1991—2005 年) 缩小, 主要原因是微温极干温带荒漠类分布地区近 50a 来降水量增加以及积温升高显著, 导致中温带转向暖温带, 极干旱转向干旱, 潜在植被类型之间发生了演替过程。分布在塔里木盆地地区的潜在植被类型主要是温暖极干暖温带荒漠类, 1961—1975 年分布面积为 357180 km², 随着气候变化, 分布范围向东北方向扩展, 1976—1990 年分布面积为 399874 km², 1991—2005 年, 分布面积达 471502 km²。微温微润草甸草原类, 主要分布在大兴安岭 (1961—1975 年与 1976—1990 年), 从 3 期的分布面积 (248783 km²→236405 km²→247698 km²) 来看, 面积变化不大, 但在空间上向东北方向移动, 到 90 年代后期, 呼伦贝尔高原地区出现了微温微润草甸草原类型。微温微干温带典型草原类主要分布在鄂尔多斯高原→浑善达克沙

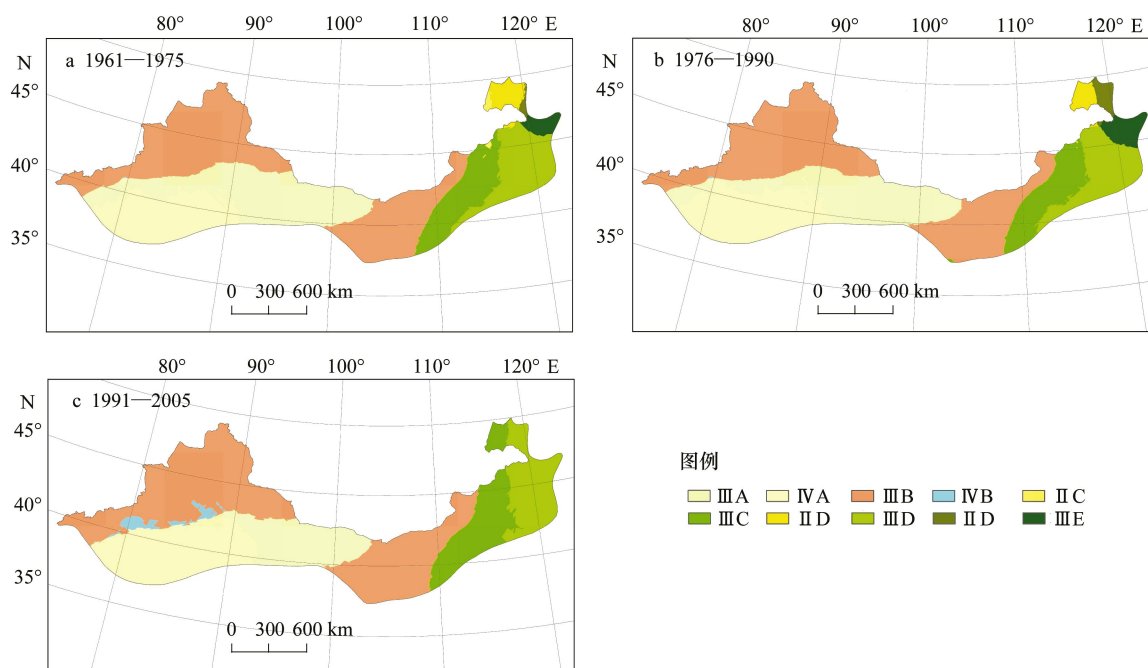


图3 干旱半干旱区潜在植被分布及演替(图例检索见表1)

Fig.3 Distribution and succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China (Legend searches following table 1)

地一带,面积的变化有一定的波动性,同样在1990年代后期呼伦贝尔高原地区出现了此植被类型。分布在天山南脉东段的暖温干旱暖温带半荒漠类,面积由1961—1975年的200 km²向东扩大到90年代后期的40074 km²。其它类型,如寒温微润山地草甸草原类、微温湿润森林草原、落叶阔叶林类、寒温微干山地草原类、寒温湿润山地草甸类、暖温干旱暖温带半荒漠类,分布面积相对前5类较少(表1),到90年代后期,这5种植被类型从研究区消失。

3.2 近45a中国干旱半干旱区潜在植被的演替

潜在植被的演替是在区域气候环境发生变化时,植被类型发生相互转化的过程。本文通过转移矩阵(表2、表3)分析以下3个主要问题:①潜在植被类型之间的转化特征及数量变化;②潜在植被类型地理分布格局变化与发展方向;③潜在植被类型演替的驱动因素分析。

微温极干温带荒漠类主要分布在天山南麓→河西走廊西部→阿拉善高原地区,1961—1975年的分布面积为561478 km²,从a(1961—1975年)→b(1976—1990年)(以下简称a→b)转移变化并结合图3来看,微温极干温带荒漠类的演替过程主要发生在天山南麓,其中有42865 km²演替为温暖极干暖温带荒漠类,37339 km²演替为微温干旱温带半荒漠类,发生这种过程的主要驱动因素是:前者为温度的升高导致立地温度带发生了变化,后者为降水量的增加使立地湿度增大,从而发生了分别以热量与干湿性为变化特征的潜在植被演替过程。在b(1976—1990年)→c(1991—2005年)(以下简称b→c)转移变化中,微温极干温带荒漠类继续向温暖极干暖温带荒漠类与微温干旱温带半荒漠类演替,演替面积分别为82674 km²、73572 km²。对比两个阶段的演替过程发现,第二次演替速度有加倍的特点。另外,a→b过程中微温极干温带荒漠类向暖温干旱暖温带半荒漠类演替的趋势不太明显,但在b→c的过程中有17718 km²的微温极干温带荒漠类演替为暖温干旱暖温带半荒漠类,出现这种现象的主要原因是,20世纪90年代后期,天山南脉东段→吐鲁番盆地一带气候变化较为明显,热量增加以及降水量的增加导致了立地的潜在植被类型由荒漠转向半荒漠。通过a→b、b→c的两次演替过程,微温极干温带荒漠类西段的分布界线已由天山南麓向东缩小到吐鲁番盆地一带。

表 1 干旱半干旱区潜在植被分类统计

Table 1 Statistics of potential vegetation classification in arid and semi-arid area of China

类代号 Class-code	类名 Class-name	a(1961—1975)		b(1976—1990)		c(1991—2005)	
		分布面积 Area km ²	地理分布 Distribution	分布面积 Area km ²	地理分布 Distribution	分布面积 Area km ²	地理分布 Distribution
ⅢA	微温极干温带荒漠类 Cool temperate-extrarid temperate zonal desert	561478	天山南麓→河西走廊西部→阿拉善高原	491234	天山南麓→河西走廊西部→阿拉善高原	318098	吐鲁番盆地→河西走廊西部→阿拉善高原
ⅣA	温暖极干暖温带荒漠类 Warm temperate-extrarid warm temperate zonal desert	357180	塔里木盆地	399874	塔里木盆地	471502	塔里木盆地
ⅢB	微温干旱温带半荒漠类 Cool temperate-arid temperate zonal semidesert	931686	准噶尔盆地、吕梁山以西,鄂尔多斯高原以北地区	955032	准噶尔盆地、吕梁山以西,鄂尔多斯高原以北地区	1070776	准噶尔盆地、吕梁山以西,鄂尔多斯高原以北地区
ⅣB	暖温干旱暖温带半荒漠类 Warm temperate-arid warm temperate zonal semidesert	200	天山南脉东段	428	天山南脉东段	40074	天山南脉东段→吐鲁番盆地
ⅡC	寒温微干山地草原类 Cold temperate-semiarid montane steppe	9059	呼伦贝尔高原西部及锡林郭勒高原北部	282	锡林郭勒高原北部	—	—
ⅢC	微温微干温带典型草原类 Cool temperate-semiarid temperate typical steppe	226432	鄂尔多斯高原→浑善达克沙地	217083	鄂尔多斯高原→浑善达克沙地	284369	鄂尔多斯高原→浑善达克沙地、呼伦贝尔高原
ⅡD	寒温湿润山地草甸草原类 Cold temperate subhumid montane meadow steppe	54553	呼伦贝尔高原	36212	呼伦贝尔高原	—	—
ⅢD	微温湿润草甸草原类 Cool temperate-subhumid meadow steppe	248783	大兴安岭	236405	大兴安岭	247698	大兴安岭、呼伦贝尔高原
ⅡE	寒温湿润山地草甸类 Cold temperate-humid montane meadow	7922	太平岭	32937	大兴安岭、呼伦贝尔高原	—	—
ⅢE	微温湿润森林草原、落叶阔叶林类 Cool temperate-humid forest steppe, deciduous broad leaved forest	35224	乌兰浩特地区	63030	乌兰浩特地区	—	—

表 2 干旱半干旱区潜在植被 a(1961—1975)→b(1976—1990) 转移变化 (km²)

Table 2 The transfer of change of potential vegetation from a (1961—1975) to b (1976—1990) in arid and semi-arid area of China (km²)

a→b	ⅢA	ⅣA	ⅢB	ⅣB	ⅡC	ⅢC	ⅡD	ⅢD	ⅡE	ⅢE
ⅢA	481250	42865	37339	31	0	0	0	0	0	0
ⅣA	12	357005	2	166	0	0	0	0	0	0
ⅢB	10019	1	914144	31	0	7509	0	0	0	0
ⅣB	0	0	0	201	0	0	0	0	0	0
ⅡC	0	0	0	0	277	1759	7013	6	0	0
ⅢC	0	0	3523	0	2	206069	0	16792	0	0
ⅡD	0	0	0	0	0	0	29178	361	24962	21
ⅢD	0	0	0	0	0	1707	0	219260	4	27817
ⅡE	0	0	0	0	0	0	0	0	7915	1
ⅢE	0	0	0	0	0	0	0	0	44	35191

类代号检索见表 1

温暖极干暖温带荒漠类主要分布在塔里木盆地,在 a→b 的转移变化中,温暖极干暖温带荒漠类的地理分布及面积变化很小,但在 b→c 的转移变化中,有 10955 km² 的温暖极干暖温带荒漠类演替为暖温干旱暖温带半荒漠类,主要发生在天山山脉南坡,而且向哈顺戈壁一带扩展,主要原因是 1990 年代后期天山山脉南坡一

带降水量增加了 20—30mm,使立地的干旱气候有所改观,潜在植被类型也相应的有所响应。

表 3 干旱半干旱区潜在植被 b(1976—1990)→c(1991—2005)转移变化 (km²)

Table 3 The transfer of change of potential vegetation from b (1976—1990) to c (1991—2005) in arid and semi- area of China (km ²)						
b→c	Ⅲ A	Ⅳ A	Ⅲ B	Ⅳ B	Ⅲ C	Ⅲ D
Ⅲ A	317261	82674	73572	17718	0	0
Ⅳ A	13	388864	29	10955	0	0
Ⅲ B	776	0	943250	10898	46	0
Ⅳ B	0	0	2	424	0	0
Ⅱ C	0	0	0	0	271	0
Ⅲ C	0	0	53905	0	163126	0
Ⅱ D	0	0	0	0	31421	4775
Ⅲ D	0	0	0	0	89232	147195
Ⅱ E	0	0	0	0	243	32702
Ⅲ E	0	0	0	0	0	63025

类代号检索见表 1

微温干旱温带半荒漠类,主要分布在准噶尔盆地、吕梁山以西,鄂尔多斯高原以北地区,从地理分布来说变化不太明显,分别在 a→b 的转移变化中,分别有 10019 km²与 7509 km²的微温干旱温带半荒漠类演替为微温极干温带荒漠类与微温微干温带典型草原类,在 b→c 的转移变化中,有 10898 km²的微温干旱温带半荒漠类演替为暖温干旱温带半荒漠类,从两次演替的面积相对比例来看,面积变化很小;a→b 演替的主要驱动因素是降水量的增加,而 b→c 的驱动因素主要是积温值的增加。

从 a→b、b→c 转移矩阵可以看出,暖温干旱温带半荒漠类发生演替的现象不太显著,而暖温干旱温带半荒漠类面积的增加(特别是 20 世纪 90 年代后期)主要是其它潜在类型的向暖温干旱温带半荒漠类的转化。

1961—1975 年分布在呼伦贝尔高原西部及锡林郭勒高原北部的寒温微干山地草原类,在 a→b 的转化中,变化较为显著,主要转化为微温微干温带典型草原类与寒温微润山地草甸草原类,转化面积分别为 1759 km²与 7013 km²,到 1976—1990 年缩小到锡林郭勒高原北部很小的一部分,到 1991—2005 年寒温微干山地草原类从研究区消失。主要原因是立地 1976—1990 年的显著变湿与 1991—2005 年显著变干的大的波动性变化所致。

微温微干温带典型草原类在 a→b 的转化中,主要转向微温干旱温带半荒漠类与微温微润草甸草原类,转化的面积分别为 3523 km²与 16792 km²,20 世纪 90 年代后期,向微温微润草甸草原类的转化停止,而微温干旱温带半荒漠类的转化加速,面积达到 53905 km²,其变化的主要原因是鄂尔多斯高原以西地区近 50a 降水量持续减少且年积温增加显示(20 世纪 90 年代后期增加了 200—250℃)。浑善达克沙地以南地区,气候的波动性变化(湿→干)造成了先是由微温微干温带典型草原类演替为微温微润草甸草原类,后是由微温微润草甸草原类演替为微温微干温带典型草原类,并向浑善达克沙地以东地区扩展;由于 20 世纪 90 年代后期呼伦贝尔高原的显著变干,使得微温微干温带典型草原类向北扩展到呼伦贝尔高原中西部地区。

分布在呼伦贝尔高原的寒温微润山地草甸草原类由于立地气候的湿→干的显著变化,面积不断萎缩,最后从呼伦贝尔高原地区消失。

从分布面积来看,微温微润草甸草原类总面积变化不大,但地理分布向西转移,以致扩展到了呼伦贝尔高原中东部地区,这种移动变化的主要原因是浑善达克沙地以东地区发生了微温微润草甸草原类向微温微干温带典型草原类的演替,而在乌兰浩特地区以及呼伦贝尔高原中东部地区,立地植被被微温微润草甸草原类所代替。

寒温湿润山地草甸类与微温湿润森林草原、落叶阔叶林类分布面积不大,在 a→b 的转化中变化不太显著,但在 b→c 的过程中,这两类全部转化为微温微润草甸草原类,其主要原因是这两类植被分布的地区气候

显著变干所致。

综上述分析所得,在中国干旱半干旱区,由于气候的变化,潜在植被类型间发生了复杂的演替过程。分布在研究区 10 种潜在类型仅剩 6 种类型,而消失的类型分布面积相对较少,主要分布在呼伦贝尔高原及大兴安岭地区,这几类潜在类型分布的地区在 20 世纪 90 年代后期气候暖干化程度较为显著,植被气候适宜性的改变是这几类类型消失的主要原因。

4 结论

在中国干旱半干旱区,潜在植被类型之间发生了复杂的演替过程。1961—1975 年,分布在中国干旱半干旱区的潜在植被有 10 种类型,由于气候变化,到 20 世纪 90 年代后期仅剩 6 种类型,这 6 种类型为微温极干温带荒漠类(318098km²)、温暖极干暖温带荒漠类(471502km²)、微温干旱温带半荒漠类(1070776km²)、暖温干旱暖温带半荒漠类(40074km²)、微温微干温带典型草原类(284369km²)、微温微润草甸草原类(247698km²)。分布在准噶尔盆地、吕梁山以西,鄂尔多斯高原以北地区的微温干旱温带半荒漠类为主要的潜在植被类型,面积达到研究区总面积的 44%,从演替变化来看,有持续增加的趋势。

在潜在植被类型之间的转化特征与数量方面,分布面积稳定减少的类型有:微温极干温带荒漠类、寒温微干山地草原类、寒温微润山地草甸草原类,其中面积变化最大的类为微温极干温带荒漠类,主要分布在天山南麓→河西走廊西部→阿拉善高原一带,3 期变化面积减少了 243380km²,占 1961—1975 年间面积的 43.3%;分布在呼伦贝尔高原西部及锡林郭勒高原北部的寒温微干山地草原类与分布在呼伦贝尔高原地区的寒温微润山地草甸草原类(1961—1975 年间分布面积分别为 9059 km², 54553 km²)从立地消失。分布面积稳定增加的类型有:温暖极干暖温带荒漠类、微温干旱温带半荒漠类、暖温干旱暖温带半荒漠类,相比 1961—1975 年间分布面积,增量分别为 12%→32%, 2.5%→15%, 114%→19937%,特别是分布在天山南脉东段的暖温干旱暖温带半荒漠类面积扩张较快。面积波动性变化的类型有:寒温微干山地草原类、微温微干温带典型草原类、微温微润草甸草原类、寒温湿润山地草甸类、微温湿润森林草原、落叶阔叶林类,其中寒温湿润山地草甸类、微温湿润森林草原、落叶阔叶林类从立地消失,表现出了一定的不稳定性。在潜在植被类型地理分布格局变化与发展方向方面,演替明显的地区主要有:吐鲁番盆地、锡林郭勒高原北部、呼伦贝尔高原、太平岭地区;在发展方向上,潜在植被的空间变化方向(演替方向)均异。潜在植被类型演替的驱动因素主要是气候变化条件下,影响植被分布的水热条件发生了改变。

References:

- [1] Tüxen R. Die heutige potentielle natuerliche vegetation als Gegenst vegetation skartierung. Angew. Pflanzensoziologie, 1956, 13: 5-42.
- [2] Küchler A W. Vegetation Mapping. New York: Ronald Press, 1967.
- [3] Brzeziecki B, Kienast F, Wildi O A. Simulated map of the potential natural forest vegetation of Switzerland. Journal of Vegetation Science, 1993, 4: 499-508.
- [4] Guisan A, Theurillat J P, Kienast Die heutige potentielle natuerliche vegetation als Gegenst vegetation skartierung F. Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. Journal of Vegetation Science, 1998, 9: 65-74.
- [5] Brown D G. Predicting vegetation types at treeline using topography and biophysical disturbance variables. Journal of Vegetation Science, 1994, 5: 641-656.
- [6] Dymond C C, Johnson E A. Mapping vegetation spatial patterns from modeled water, temperature and solar radiation gradients. Photogrammetry and Remote Sensing, 2002, 57: 69-85.
- [7] Betts R A, Cox P M, Woodward F I. Simulated responses of potential vegetation to doubled-CO₂ climate change and feedbacks on near-surface temperature. Global Ecology and Biogeography, 2000, 9: 171-180.
- [8] Cramer W, Bondeau A, Woodward F I, Prentice I C, Betts R, Brovkin V, Cox P M, Fisher V, Foley J A, Friend A D, Kucharik C, Lomas M R, Ramunkutty N, Sitch S, Smith B, White A, Young- Molling C. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models, Global Change Biology, 2001, 7: 357-373.
- [9] Bachelet D, Neilson R P, Hickler T, Drapek R J, Lenihan J M, Sykes M T, Smith B, Sitch S, Thonicke K. Simulating past and future dynamics of natural ecosystems in the United States. Global Biogeochemical Cycles, 2003, 17(2): 14-1—14-21.

- [10] Zhao M S, Ronald P. Neilson, Yan X D, Dong W J. Modelling the vegetation of China under changing climate. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(1): 29-30.
- [11] Yang Z Y, Zhou G S, Yang D A. Comparison of simulated vegetation distribution in China produced by four popular climate-vegetation classification models. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(5): 587-593.
- [12] Liu H M, Wu S H, Zheng D, Yang Q Y. The study on the potential natural vegetation and future prospect. *Progress in Geography*, 2004, 23(1): 62-70.
- [13] Zhao D S, Li S C, Wu S H. Progress on climate-vegetation modeling in the Tibetan. *Plateau Progress in Geography*, 2006, 25(4): 68-75.
- [14] Zhao C Y, Feng Z D, Nan Z R, Li S B. Modelling of potential vegetation in Zulihe River Watershed of the West-central Loess Plateau. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(1): 52-61.
- [15] Li F, Zhao J, Zhao C Y, Hao J M, Zheng J J. The potential vegetation spatial distributions and patterns in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5347-5355.
- [16] Ren G Y. On baseline vegetation in Northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1287-1293.
- [17] Department of Geography, Northwest Normal University. *Chinese Atlas of Physical Geography*. Beijing: China Cartographic Publishing House, 1984.
- [18] Ren J Z. The rational utilization of rangeland and rangeland classes. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
- [19] Zhao J. The study on theory and practice of rangeland eco-information maps and pratacultural Eco-informatics. PhD Thesis, 2007. Gansu Agricultural University, Lanzhou, China.
- [20] Ren J Z, Hu Z Z, Zhao J, Zheng D G, Hou F J, Lin H L. A grassland classification system and its application in China. *The Rangeland Journal*, 2008, 30: 199-209.

参考文献:

- [10] 赵茂盛, Ronald P. Neilson, 延晓冬, 董文杰. 气候变化对中国植被可能影响的模拟. *地理学报*, 2002, 57(1): 29-30.
- [11] 杨正宇, 周广胜, 杨莫安. 4 个常用的气候·植被分类模型对中国植被分布模拟的比较研究. *植物生态学报*, 2003, 27(5): 587-593.
- [12] 刘华民, 吴绍洪, 郑度, 扬勤业. 潜在自然植被研究与展望. *地理科学进展*, 2004, 23(1): 62-70.
- [13] 赵东升, 李双成, 吴绍洪. 青藏高原的气候植被模型研究进展. *地理科学进展*, 2006, 25(4): 68-75.
- [14] 赵传燕, 冯兆东, 南忠仁, 李守波. 黄土高原祖厉河流域潜在植被分布模拟研究. *地理学报*, 2007, 62(1): 52-61.
- [15] 李飞, 赵军, 赵传燕, 郝君明, 郑佳佳. 中国潜在植被空间分布格局. *生态学报*, 2008, 28(11): 5347-5355.
- [16] 任国玉. 中国北方地区的本底植被. *生态学报*, 2004, 24(6): 1287-1293.
- [17] 西北师范学院地理系. *中国自然地理图集*. 北京: 地图出版社, 1984.
- [18] 任继周. *草原合理利用与草原类型*. 中国农业出版社, 2004.
- [19] 赵军. *草原生态信息图谱与草原生态信息学理论与实践研究*. 甘肃农业大学, 2007.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huajun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		

